

Пятьдесят лет назад, 20 июля 1969 года, на Луну высадились астронавты корабля «Аполлон-11» — Нил Армстронг и Эдвин Олдрин. Событие ожидаемо стало историческим и получило огромный общественно-политический резонанс. Однако триумф технического достижения на долгие годы затмил научное значение экспедиций, реализованных в ходе программы «Сатурн-Аполлон». Какие новые знания дали человечеству полёты американских астронавтов на Луну?

НАУКА «АПОЛЛОНОВ»

Антон ПЕРВУШИН.

ШАГ ЗА ШАГОМ

Первым ступив на лунную поверхность, Нил Армстронг произнёс фразу, которая стала знаменитой: «Этот один маленький шаг для человека — один гигантский прыжок для человечества» (That's one small step for a man, one giant leap for mankind). Астронавт шукавил: в действительности американские учёные, инженеры и пилоты сделали множество «маленьких шагов» перед тем, как совершить «гигантский прыжок» к ближайшему небесному телу.

Лунная программа США была инициирована в качестве ответа на успешные полёты первых советских космических станций серии «Луна», состоявшиеся в течение 1959 года. В западной прессе того времени можно найти полные оптимизма заголовки, некоторые из которых оказались пророческими: «Американцы смогут облететь Луну в следующие десять лет», «Учёные предсказывают, что человек высадится на Луне к 1969 году», «Космической целью США является мирный межпланетный полёт», «Ракетчики обдумывают запуск к Луне», «У США есть шанс первыми доставить человека на Луну» и т. п. Однако средств, выделяемых правительством, явно не хватало на то, чтобы развернуть полноценную подготовку к изучению Луны.

Перелом произошёл после орбитального полёта Юрия Гагарина — даже скептически настроенным политикам стало ясно: США упустили инициативу в космической гонке, что сказывается на их репутации передовой державы мира. 25 мая 1961 года президент Джон Ф. Кеннеди выступил с речью перед

сенатом и палатой представителей, пообещав, что до конца десятилетия американец обязательно доберётся до Луны.

Уверенность президента опиралась не на пустое прожектерство, а на существующий научно-технический задел. К тому времени космические усилия США были подчинены единой влиятельной организации — Национальному управлению по авиации и исследованию космического пространства (National Aeronautics and Space Administration, NASA). Оно занималось созданием линейки мощных ракет-носителей «Титан» (Titan) и «Сатурн» (Saturn), а также вело проекты космических кораблей — одноместного «Меркурия» (Mercury) и двухместного «Джемини» (Gemini).

Разумеется, перед осуществлением пилотируемых экспедиций требовалось провести колоссальную исследовательскую работу. Были задуманы и реализованы три научные программы с использованием межпланетных аппаратов «Рейнджер» (Ranger), «Сервейер» (Surveyor) и «Лунар орбитер» (Lunar Orbiter).

Первые попытки запустить небольшие аппараты серии «Рейнджер» завершились крахом: из-за технических сбоев ни одна из пяти миссий не была доведена до получения внятных результатов. Однако после выступления Кеннеди финансирование резко возросло, и специалисты предложили новый аппарат «Рейнджер Блок-3» (Ranger Block 3), который должен был фотографировать поверхность



Видимая сторона Луны; снимок сделан 21 июля 1969 года с борта космического корабля «Аполлон-11» на расстоянии 18 500 км от поверхности Луны (NASA, AS11-44-6665).

Аппарат серии «Рейнджер» для изучения Луны с траектории падения (NASA, Image № p2888a).



Луны на траектории падения. В период с января 1964-го по март 1965 года в космос отправились четыре «Рейнджера». Все они достигли поверхности Луны, успев передать на Землю 17 267 телеизображений.

Учёные собирались продолжить запуски, но планы пришлось пересмотреть, потому что советские конкуренты вновь вырвались вперёд: 3 февраля 1966 года на лунную поверхность совершила мягкую посадку автоматическая станция «Луна-9». Теперь приоритет получила программа «Сервейер». С мая 1966-го по январь 1968 года были запущены семь посадочных аппаратов этой серии: два из них погибли, но оставшиеся пять совершили мягкие прилунения и передали 87 891 телеизображение окру-

жающей местности. Но, главное, с помощью этих аппаратов была отработана процедура посадки и получены данные о физических характеристиках грунта, освещённости при разной высоте Солнца, тепловых потоках, пиках радиации и т. п.

Параллельно развивался проект картографирования Луны, который осуществлялся с помощью «Лунар орбитер». С августа 1966-го по август 1967 года в космос отправились пять аппаратов. Каждый из них имел на борту две камеры, со средней и высокой разрешающей способностью, поэтому снимки любого района делались парными. Всего было получено 980 пар снимков, причём особо изучались места будущих высадок.





Аппарат серии «Лунар орбитер» для картографирования Луны (NASA).

Пилотируемая астронавтика тоже брала новые рубежи. В период с марта 1965-го по ноябрь 1966 года состоялись десять полётов двухместных кораблей «Джемини», в ходе которых тестировались системы и отрабатывались процедуры, необходимые для осуществления лунных экспедиций. Например, во время полёта «Джемини-3» астронавт Эдвард Уайт совершил первый (после Алексея Леонова) выход в открытый космос, а на «Джемини-8» астронавт Нил Армстронг впервые осуществил орбитальную стыковку корабля с мишенью.

Местом старта лунных экспедиций был выбран район мыса Канаверал во Флориде. Побережье к северу от него и часть острова Мерритт занял созданный в июле 1962 года Центр стартовых операций NASA (в ноябре следующего года его переименовали в Космический центр имени Кеннеди). В мае 1963 года там заложили фундамент гигантского монтажно-испытательного корпуса — зда-



Аппарат «Сервейер-3» на поверхности Луны (NASA, AS12-48-7099).

ния вертикальной сборки высотой 165 м. В 5 км от него на берегу океана были выстроены два стартовых комплекса — LC-39A и LC-39B для мощных трёхступенчатых ракет-носителей «Сатурн-5» (Saturn V).

К началу их лётно-конструкторских испытаний был более или менее готов командно-служебный модуль (Command and Service Module, CSM) нового трёхместного корабля «Аполлон» (Apollo). Первый запуск «Сатурна-5» состоялся 9 ноября 1967 года; на орбиту был доставлен «Аполлон-4» с макетом лунного модуля (Lunar Module, LM). В январе 1968 года в космосе был испытан лунный модуль «Аполлона-5»; в апреле — беспилотный «Аполлон-6». Последний старт из-за сбоя второй ступени едва не закончился аварией, но «Сатурн-5» вытащил корабль, продемонстрировав хорошую живучесть.

11 октября 1968 года более простой ракетой «Сатурн-1Б» (Saturn IB) был запущен командно-служебный модуль «Аполлона-7» с экипажем из трёх астронавтов. В течение десяти суток они испытывали корабль, проводя сложные манёвры. Теоретически «Аполлон» был готов к экспедиции, однако лунный модуль всё ещё оставался очень «сырым». И тогда специалисты NASA придумали миссию, которая изначально вообще не значилась в планах, — полёт вокруг Луны. 21 декабря 1968 года корабль «Аполлон-8» без лунного модуля, но с экипажем, состоящим из Фрэнка Бормана, Джеймса Ловелла и Уильяма Андерса, отправился к соседнему небесному телу. Шестисуточное путешествие прошло сравнительно гладко, став крупнейшим достижением того времени.

Однако перед исторической высадкой на Луну понадобилось осуществить ещё две миссии. В марте 1969 года на «Аполлоне-9» экипаж в составе Джеймса Макдивитта, Дэвида Скотта и Расселла Швайкарта отработал процедуру расстыковки и стыковки модулей корабля на околоземной орбите. В мае то же самое проделали астронавты «Аполлона-10» Томас Стаффорд, Джон Янг и Юджин Сернан — непосредственно над Луной.

16 июля 1969 года был запущен корабль «Аполлон-11». В полёт отправились опытные астронавты Нил Армстронг, Майкл Коллинз и Эдвин Олдрин. 20 июля, в 20:17:40 по времени Гринвича, лунный модуль, получивший красивое название «Орёл» (Eagle), совершил посадку в Море Спокойствия.



Астронавт Эдвард Уайт в открытом космосе 3 июня 1965 года (NASA, S65-30427).

Астронавты проработали на поверхности совсем недолго: Армстронг — 2 часа 13 минут, Олдрин — 1 час 46 минут. Зато они доставили на Землю качественные фотоснимки, сделанные шведской фотокамерой Hasselblad 500EL, и образцы грунта общей массой 21,4 кг.

После «Аполлона-11» были запланированы ещё девять полётов на Луну, но из-за сокращения финансирования состоялись только шесть из них.

«Аполлон-12» с астронавтами Чарльзом Конрадом, Ричардом Гордоном и Аланом Бинном на борту отправился в космос 14 ноября 1969 года. Миссия планировалась как обстоятельная научная экспедиция с двумя выходами на поверхность. 19 ноября Конрад и Бин прилунились на модуле «Неустрасимый» (Intrepid) в Океане Бурь, поблизости от американского аппарата «Сервейер-3», прибывшего туда 20 апреля 1967 года. Миссия прошла безупречно, и через десять суток экипаж «Аполлона-12» вернулся на Землю. Помимо фотоплёнок астронавты привезли 35 кг образцов лунного грунта и горных пород, а также детали «Сервейера-3».

Полёт «Аполлона-13», на борту которого находились астронавты Джеймс Ловелл, Джон Свайгерт и Фред Хейз, начался 11 апреля 1970 года, но едва не закончился гибелью.



Старт ракеты-носителя «Сатурн-5» с космическим кораблём «Аполлон-8» 21 декабря 1968 года (NASA, S68-56050).

Экипаж «Аполлона-11» (слева направо): Нил Армстронг, Майкл Коллинз и Эдвин Олдрин (NASA, S69-31740).

лью экипажа. Через два дня после старта, на пути к Луне, взорвался кислородный бак в командно-служебном модуле. Специалистам NASA пришлось приложить изрядные усилия и использовать хитроумные методы для того, чтобы вернуть астронавтов на Землю.

Целью миссии «Аполлона-14» и его экипажа в составе Алана Шепарда, Стюарта Руса и Эдгара Митчелла была не только научная экспедиция, но и демонстрация уверенности NASA в собственных силах, которая пошатнулась после злополучного происшествия с предыдущим кораблём. Полёт начался 31 января 1971 года и привлёк большое внимание прессы. 5 февраля



Запуск ракеты-носителя «Сатурн-5» с космическим кораблём «Аполлон-11» 16 июля 1969 года (NASA, S69-39529).





Отпечаток подошвы астронавта Эдвина Олдрина в реголите лунной поверхности; снимок сделан 20 июля 1969 года (NASA, AS11-40-5878).

Шепард и Митчелл в модуле «Антарес» (Antares) сели на лунную поверхность в районе кратера Фра Мауро, а через девять суток благополучно вернулись на Землю, привезя с собой 42,8 кг собранных образцов.

Корабль «Аполлон-15» с астронавтами Дэвидом Скоттом, Альфредом Уорденом и Джеймсом Ирвином стартовал 26 июля 1971 года и доставил на Луну первый планетоход — ровер LRV (Lunar Roving Vehicle). На этом космическом электромобиле Скотт и Ирвин совершили три поездки по окрестностям от места посадки модуля «Сокол» (Falcon) в районе горного массива Апенни-

Доставка первых образцов грунта с поверхности Луны в лабораторию; снимок сделан 25 июля 1969 года (NASA, S69-39996).



ны. Через двенадцать суток они вернулись домой, доставив более 100 образцов лунных минералов общей массой 77 кг.

16 апреля 1972 года в космос на «Аполлоне-16» отправились Джон Янг, Томас Маттингли и Чарльз Дьюк. 21 апреля модуль «Орион» (Orion) прилунился в районе кратера Декарт, после чего Янг и Дьюк развернули ровер LRV-2 и по примеру предшественников предприняли на нём три вылазки. Всего им удалось собрать 94,3 кг образцов. Общее время экспедиции составило одиннадцать суток.

7 декабря 1972 года стартовал «Аполлон-17» с Юджином Сернаном, Рональдом Эвансом и Харрисоном Шмиттом, а 11 декабря астронавты Сернан и Шмитт, совершив идеальную посадку на модуле «Челленджер» (Challenger) в долине среди гор Тавр на юго-восточном краю Моря Ясности, подготовили к путешествию ровер LRV-3. Особенностью экспедиции стало то, что Шмитт был не военным пилотом, а профессиональным геологом. Совершив три выхода, экипаж отправился домой. Коллекция лунных образцов потяжелела ещё на 110,4 кг, а фотоархив пополнился двумя тысячами качественных фотоснимков. Вся экспедиция заняла двенадцать с половиной суток, став наиболее насыщенной и успешной за всю историю программы.

Впрочем, её успех не мог изменить судьбу «Аполлонов»: пилотируемые полёты к Луне были остановлены на пике возможностей. Оставшиеся ракеты и корабли либо отправили в музеи, либо использовали при эксплуатации орбитальной станции «Скайлаб» (Skylab), а также при осуществлении исторического полёта «Союз-Аполлон» в июле 1975 года.

ЛУННЫЕ ГИПОТЕЗЫ

Нельзя сказать, что научный мир ожидал от лунных экспедиций каких-то прорывных открытий. Некоторые специалисты вообще поставили под сомнение результативность будущих полётов. Знаменитый британский астроном-космолог Фред Хойл, например, писал по этому поводу довольно резко: «Можно подумать, что NASA существует



только для того, чтобы высадить человека на Луну. Я не верю, что из исследований кучи шлака, которую представляет собой поверхность Луны, выйдет что-нибудь путное».

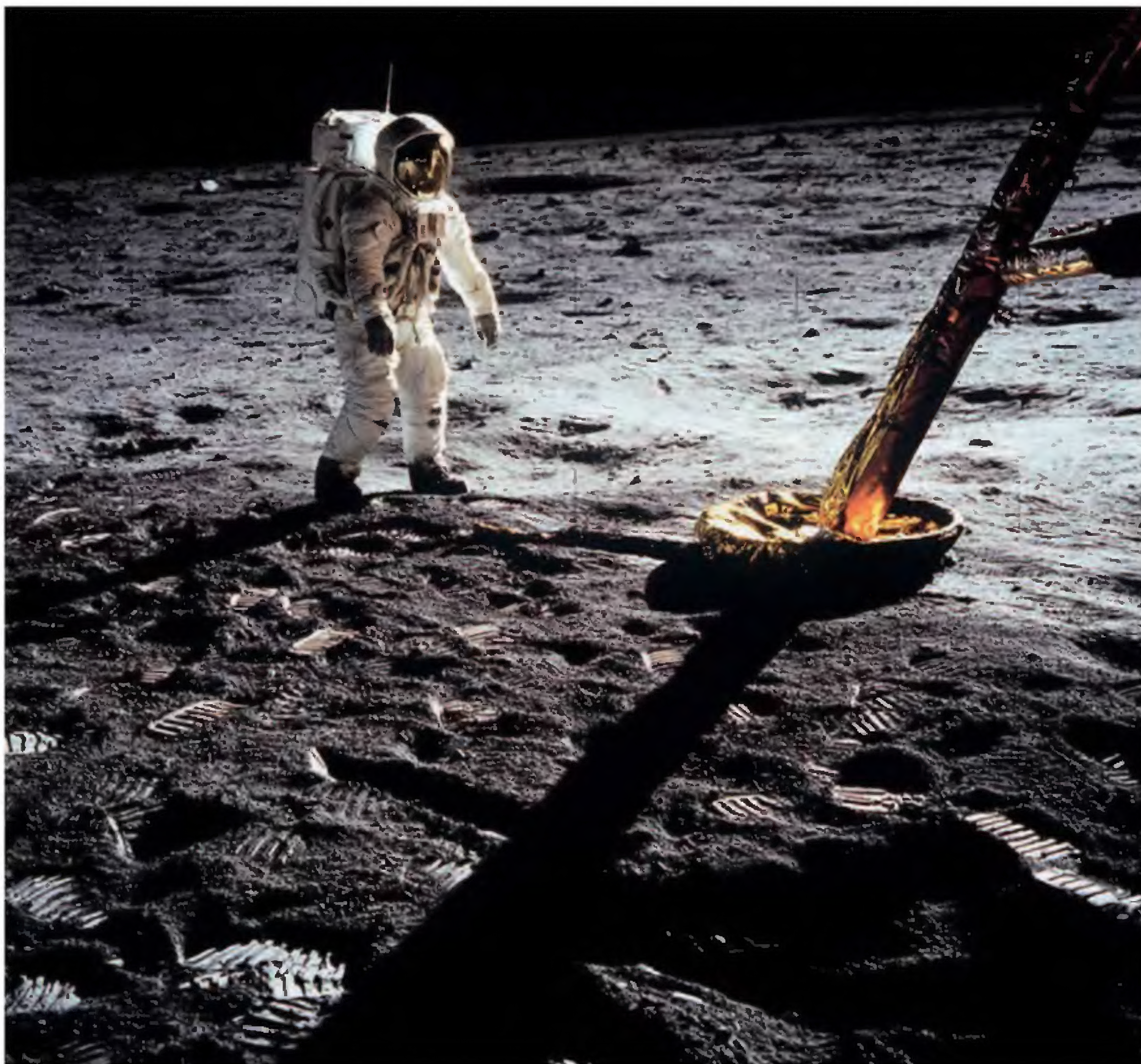
Тем не менее научный результат программы «Сатурн-Аполлон» был весьма существенным, а изучение лунных образцов и данных, полученных измерительными приборами, продолжаются и сегодня, принося новые открытия.

Чтобы разобраться, какой вклад в селенологию и космологию внесли полёты астронавтов на Луну, необходимо вспомнить представления о ней, которые существовали в середине 1960-х годов. Благодаря тысячелетним наблюдениям за единственным естественным спутником Земли, астрономы знали, что он лишён атмосферы, водных ресурсов и какой-либо развитой биосферы. Однако не было ясности, можно ли распространить эти выводы на обратную, «невидимую», сторону Луны, ведь среди прочих обсуждались гипотезы о

Над поверхностью Луны; снимок сделан с борта космического корабля «Аполлон-11» (NASA, AS11-44-6549).

существовании там глубочайших расселин, где вполне могли бы сохраниться «остатки атмосферы». Вопрос был прояснён в октябре 1959 года, когда советская станция «Луна-3» передала первые изображения обратной стороны: хотя рельеф поверхности отличался (больше горных районов, меньше заметных кратеров и «морей»), каких-то особых аномалий, указывающих на места возможного обитания развитой инопланетной жизни, не было выявлено ни тогда, ни в дальнейшем.

Много гипотез породило вычисление учёными XIX века средней плотности Луны. Оказалось, что она заметно меньше земной: $3,3 \text{ г/см}^3$ против $5,5 \text{ г/см}^3$. Если оба тела сложены из похожих пород, то как объяснить разницу? Что, если внутри Луны имеются обширные полости? Но как они сформирова-

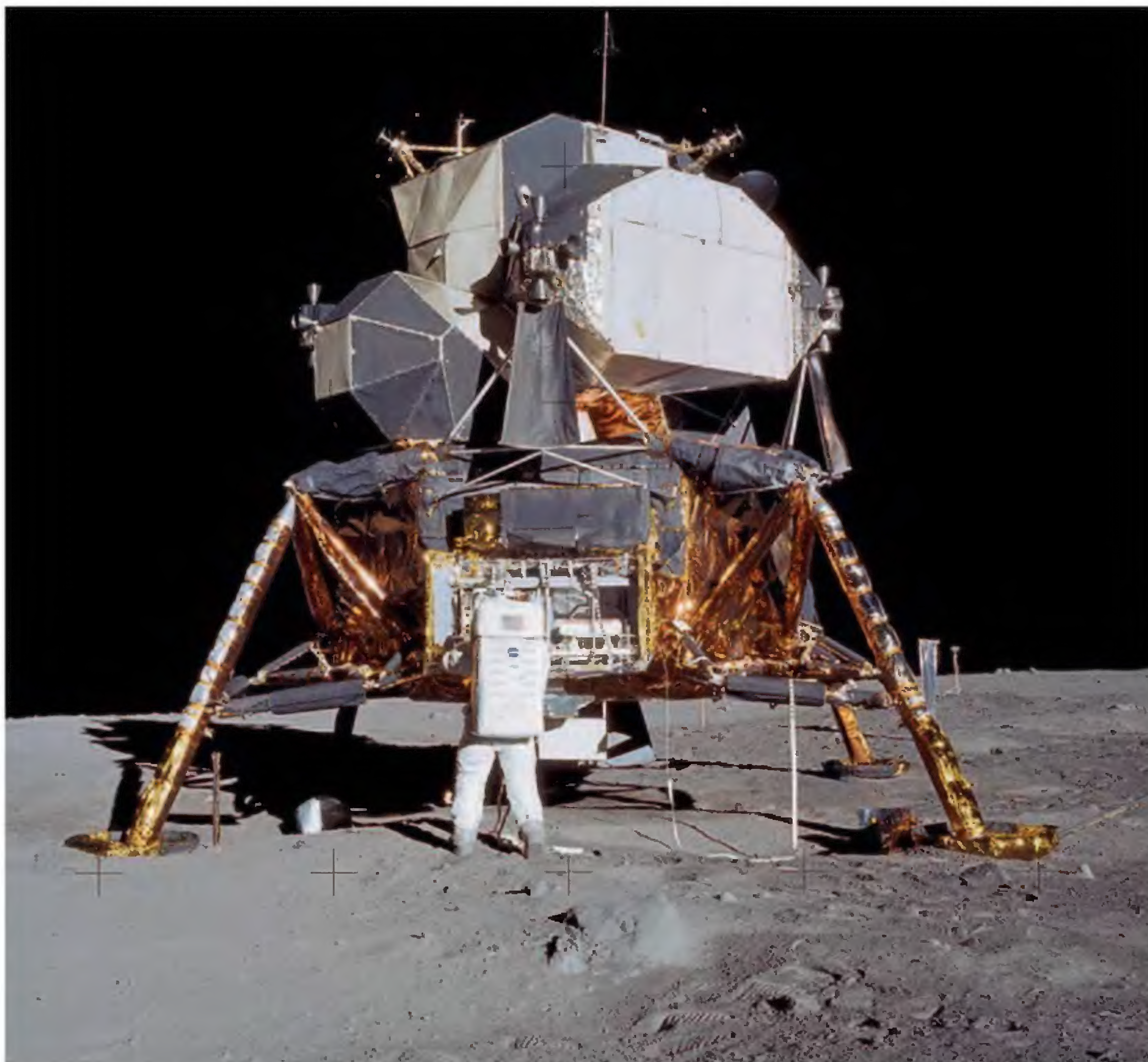


Астронавт Эдвин Олдрин на поверхности Луны в Море Спокойствия; снимок сделан Нилом Армстронгом 20 июля 1969 года (NASA, AS11-40-5902).

ровались? В 1879 году, пытаясь объяснить феномен низкой плотности и особенности движения Луны, астроном Джордж Дарвин, сын великого Чарльза Дарвина, выдвинул первую обоснованную теорию её происхождения. Он предположил, что в те времена, когда наша планета представляла собой горячую жидкую массу, она вращалась с огромной скоростью, совершая полный оборот за четыре часа. Из-за резонанса, вызванного совпадением частоты собственных колебаний Земли и частоты солнечных приливов, высота последних росла до тех пор, пока однажды один из приливных «горбов» не оторвался, превратившись затем в естественный спутник. Поскольку оторвался

только верхний фрагмент планеты, то Луна лишена металлического ядра, а её средняя плотность равна плотности земной мантии. В 1882 году английский геофизик Османд Фишер поддержал гипотезу, указав в свою очередь, что местом «отрыва» Луны, вероятно, является бассейн Тихого океана.

Теория Дарвина — Фишера выглядела столь изящной, что на некоторое время стала общепризнанной. Однако в дальнейшем расчёты показали, что даже такого быстрого вращения недостаточно для отрыва от протоземли хоть какой-то значимой массы. К тому же теория не объясняла, откуда у формирующейся планеты возник столь высокий момент импульса и куда он делся. В 1909 году появилась теория «захвата», сформулированная американским астрономом Томасом Джексоном Си, который предположил, что Луна сформировалась отдельно от нашей планеты где-то в Солнечной сис-



теме, а затем была притянута гравитацией в момент взаимного сближения. Новая гипотеза обрела множество сторонников, среди которых был нобелевский лауреат Гарольд Юри, посвятивший её уточнению и популяризации немало работ.

В изначальном варианте теория не объясняла, каким образом произошло рассеивание кинетической энергии при захвате, и сторонникам приходилось вводить новые допущения: протолуна вращалась в другую сторону, её орбита имела высокий эксцентриситет и т. п. Юри предположил, что существовало несколько протолун на близком расстоянии от протоземли. В какой-то момент они столкнулись, потеряв кинетическую энергию и образовав единое тело.

Сторонники теории «захвата», конечно, понимали, что подобное событие уникально, поэтому маловероятно. Им требовалось ма-

Астронавт Эдвин Олдрин извлекает комплекс приборов EASEP из забортного отсека хранения оборудования лунного модуля «Орёл»; снимок сделан Нилом Армстронгом 20 июля 1969 года (NASA, AS11-40-5927).

териальное подтверждение в виде лунного грунта. Если бы его анализ показал, что Луна моложе Земли, а в составе преобладает «первичное» вещество, сходное с веществом каменных метеоритов, то экзотическую теорию можно было бы считать доказанной. В этом случае пришлось бы пересмотреть всю космологию Солнечной системы в пользу существования большого количества протолун.

Среди селенологов не было единства мнений ни по поводу возраста Луны, ни по поводу происхождения кратеров и «морей», ни по поводу структуры лунных недр и поверхности. Например, долгое время считалось,



что Луна внутренне однородна и тектонически мертва. Но в ноябре 1958 года астрофизик Николай Козырев зафиксировал мощное вулканическое извержение в кратере Альфонс, что, с одной стороны, опровергало мнение об отсутствии активности на Луне, а с другой — добавляло аргументов сторонникам эндогенной природы её рельефа.

Другой сюрприз преподнёс американский космический аппарат «Лунар орбитер-5», запущенный 1 августа 1967 года и выведен-

Детальный снимок непо потревоженной лунной поверхности, полученный при помощи стереокамеры Голда; хорошо различимо пятно тонкого слоя «глазури» на частицах грунта (NASA, AS11-45-6709).



Ударный лунный кратер, поблизости от которого совершил посадку модуль «Орёл». На переднем плане видна стереокамера Голда, с помощью которой астронавты сделали несколько детальных снимков лунной поверхности (NASA, AS11-40-5954).

ный на околополярную селеноцентрическую орбиту. Наблюдение за траекторией его полёта с помощью наземных радиотехнических средств выявило регулярные «всплески» в величинах ускорений аппарата, связанные с усилением гравитационного поля над круглыми «морями» — Морем Дождей, Ясности, Кризисов, Нектара, Влажности и Восточным. Наиболее значительную аномалию выявили над Морем Дождей. Очевидно, в перечисленных районах имеются избыточные массы, названные масконами (от mass concentrations). Вначале селенологов озадачили гравитационные аномалии, однако вскоре появилась гипотеза, что под круглыми «морями» находятся останки планетезималей — больших небесных тел, состоявших из пыли протопланетного диска. Их притянула Луна около 3 млрд лет назад, когда её твёрдая оболочка была ещё очень тонкой, а недра разогреты. При их падении образовывался глубокий кратер, быстро заполнявшийся лавой, которая часто выливалась через края, растекаясь по поверхности. Вскоре, впрочем, были предложены теоретические модели, исключаящие воздействие планетезималей. К примеру, американский астроном Джон Гилварри считал, что в раннюю эпоху Луна мало отличалась от Земли, и её «моря» тоже заполняла горячая вода; после потери протоатмосферы и испарения воды там сохранились принесённые из глубин осадочные породы, масса и плотность которых больше окружения.

Количество гипотез, теорий, моделей росло по мере накопления новых данных о Луне, поставляемых космическими аппаратами. И с определённого момента стало ясно, что без высадки на её поверхность невозможно разрешить ни один из споров селенологов.

ЖИЗНЬ НА ЛУНЕ

Первые значимые открытия сделали члены экипажа «Аполлона-11». К моменту их экспедиции учёные благодаря станциям серий «Луна» и «Сервейер» уже знали, что поверхность Луны однозначно твёрдая и покрыта пластом рыхлой обломочной по-



роды, названной реголитом, образовавшейся в результате эрозионных экзогенных процессов, то есть под непрерывной метеоритной бомбардировкой в условиях вакуума, жёсткого солнечного облучения и значительных перепадов температур.

Море Спокойствия (Mare Tranquillitatis) изучалось космическими аппаратами «Рейнджер-8» в феврале 1965 года и «Сервейер-5» в сентябре 1967 года; дополнительное исследование провёл экипаж «Аполлона-10», одним из заданий которого было определить район для высадки следующего корабля. Море не имеет чёткой кольцевой структуры; маскон в нём не выявлен. Модуль «Орёл» прилунился в юго-западной части бассейна, в 25 км от «Сервейера-5». Нил Армстронг, выступая в июне 1970 года на XIII Сессии COSPAR (Committee on Space Research), проходившей в Ленинграде, поделился впечатлениями о высадке:

Уголковый лазерный отражатель LRRR экспедиции «Аполлон-11», справа от него — стереокамера Голда для детального изучения структуры лунного грунта (NASA, ASI 1-40-5952).

«Мы прилунились на отлогой равнине, изъеденной кратерами. Самый большой из них имел диаметр 15 м, самый маленький — только 2 см. Горизонт неровный. Склоны больших кратеров создавали впечатление, что вдаль множество пологих холмов. Грунт (в пределах видимости, то есть в радиусе двух метров от нас) представлялся песчаным с обломками пород. Угловатой или слегка сглаженной формы обломки сверху покрыты песком. Лунная поверхность в момент прилунения была ярко освещена. Казалось, что это не лунный грунт, а песчаная поверхность пустыни в знойный день. <...> Цвет едва заметен или не обнаруживается вообще. <...> Когда Солнце поднимается над горизонтом до 10°, начинают появлять-



Астронавт Эдвин Олдрин рядом с установленной на поверхности сейсмической станцией PSEP (NASA, AS11-10-5948).

ся коричневые и бурые оттенки. В общем, исследованный нами район по освещённости может сравниться с пустыней, а его цвет напоминает цвет сухого цемента или песчаного пляжа. При выходе из кабины мы неожиданно обнаружили, что обломки пород и частицы лунного грунта имеют тёмно-серый или угольно-серый цвет. <...> Хотя грунт и кажется мягким, след углублялся обычно менее чем на 1 см. Частицы грунта малы и легко прилипали к скафандру и обуви. Следы были намного глубже (5 см) на валу и в донной части кратера, диаметр которого составлял 5 м...»

Местность рядом с «Орлом» была усыпана довольно крупными обломками, скорее всего, выброшенными из кратеров при их образовании в результате падения метеоритов. Поверхности обломков, обращённые кверху, имели в основном округлённую или полуокруглённую форму; некоторые — прямоугольную форму с плитчатым сложением.

Очевидно, округлению способствовала бомбардировка микрочастицами. На этих же поверхностях Армстронг увидел множество мельчайших глубоких ямок (в диаметре от долей миллиметра до 2 мм), выстланных изнутри стеклом. Они не походили на микрократеры, поэтому их происхождение вызывало вопросы. Ещё больше озадачили специалистов россыпи стеклянных «капель», найденные Армстронгом внутри ударных кратеров. Позднее, при лабораторном изучении лунного грунта, доставленного астронавтами на Землю, обнаружено множество подобных «капель» — учёные выдвинули предположение, что они образуются при испарении и осаждении лунного вещества после падения метеорита.

Среди прочего астронавты, используя стереокамеру, сделали несколько пар фотоснимков непо потревоженной поверхности с очень близкого расстояния. На них запечатлена необычная деталь: пятна тонкого слоя «глазури» на частицах грунта, что может быть объяснено результатом расплавления поверхностного вещества. Американский астрофизик Томас Голд предположил,

что сравнительно недавно (не позднее 100 тысяч лет назад) Луна подверглась внезапному общему нагреву в результате мощнейшей солнечной вспышки, при которой на 100 секунд радиация возросла на два порядка.

Хотя работа на поверхности была кратковременной, астронавты не только собрали многочисленные образцы пород и сделали качественные фотоснимки, но и установили на поверхности комплект научных приборов. Поскольку полёт «Аполлона-11» был в большей степени испытательным, чем научным, использовался упрощённый комплект EASEP (Early Apollo Surface Experiments Package). В его состав входили уголкового лазерный отражатель LRRR (Laser Ranging Retroreflector), сейсмическая станция PSEP (Passive Seismic Experiment Package) и ловушка солнечного ветра SWC (Solar Wind Composition).

Отражатель LRRR представлял собой панель из 100 небольших кварцевых уголкового призм размером 3,8 см. Он создавался для уточнения селенографических и геодинимических данных. После размещения отражателя на поверхности в 20 м южнее «Орла» 1 августа Ликская астрономическая обсерватория в Калифорнии отыскала его лазерным лучом и получила уверенный ответный сигнал. Серии измерений продолжались тридцать лет — с 1970 по 2000 год, с увеличивающейся в два раза точностью: от 1 наносекунды до 0,5 наносекунды.

Станция PSEP состояла из трёх длиннопериодических и одного короткопериодического вертикального сейсмометра, созданных для регистрации метеоритных ударов и лунотрясений с передачей полученных данных по радиоканалу на Землю. Поскольку энергию станции поставляли солнечные батареи, лунной ночью она выключалась. Чтобы критически низкие температуры не повлияли на начинку, внутри работал изотопный обогреватель, удерживающий температуру выше минус 54°C. Установка PSEP заняла у астронавтов больше времени, чем установка отражателя, поскольку станция должна быть строго выровнена по горизонту. Её чувствительность была такова, что сразу после включения PSEP «заметила» шаги по поверхности, а позднее — вибрации от перемещений астронавтов внутри кабины «Орла». К сожалению, сейсмическая станция, доставленная экипажем «Апол-

лона-11», проработала всего три недели, однако их хватило, чтобы зарегистрировать несколько лунотрясений.

Ловушку SWC создали швейцарские учёные из Бернского университета, и она выглядела как лист сверхчистой алюминиевой фольги размером 30x140 см, закреплённый на вертикально установленном телескопическом штыве. Смысл эксперимента, который продолжался 1 час 17 минут, состоял в том, чтобы уловить частицы и исследовать молекулярную структуру солнечного ветра через определение изотопного состава гелия, неона и аргона. Астронавты забрали SWC с собой и успешно доставили на Землю. В лаборатории лист поместили в вакуумную камеру, где нагрели до частичного расплавления, а содержание выделившихся газов изучали с помощью масс-спектрометра. ⇨

Геолог Гарри Лейтем (слева) в Центре управления полётами NASA изучает первые сейсмограммы с Луны, переданные 20 июля 1969 года станцией PSEP (NASA, S69-39587).





Астронавт Эдвин Олдрин рядом с развёрнутой ловушкой солнечного ветра SWC (NASA, AS11-40-5873).

Разумеется, наибольший интерес селенологов вызвали образцы грунта. И хотя собраны они были впопыхах, даже их первичный анализ позволил сделать вывод: поверхностные породы Моря Спокойствия по химическому и минеральному составам схожи с земными базальтами, а их возраст составляет не менее 3,3 млрд лет. При этом состав предположительно изверженных пород довольно сильно отличался от известных земных и метеоритных материалов. Вместе с данными сейсмометра эти сведения поставили под сомнение теорию «захвата», которую поддерживали многие селенологи. Получалось, что, во-первых, Луна не могла сформироваться где-то вдали от земной орбиты, а во-вторых, она всё ещё тектонически активна, то есть в её

глубинах имеется небольшое раскалённое ядро. При этом не удалось обнаружить какие-либо следы воздействия воды и водосодержащих минералов. На основе предварительных данных была сформулирована очередная теория происхождения Луны — как тела, сформировавшегося на геоцентрической орбите из остатков протопланетного роя. Разницу в плотности между Луной и Землёй объяснили тем, что более тяжёлые частицы при этом выпадали на нашу планету.

Впрочем, главное открытие, сделанное по итогам экспедиции «Аполлона-11», связано всё же с гипотезой о существовании микроорганики на Луне. Некоторые учёные полагали, что если там нет никаких форм жизни сегодня, она могла быть в прошлом, оставив в поверхностном слое грунта сложные органические молекулы. Чтобы не допустить биологической «войны миров», учёные стерилизовали космические аппараты, а



Президент Ричард Никсон приветствует экипаж «Аполлона-11», находящийся в мобильном карантинном боксе; снимок сделан 24 июля 1969 года на борту авианосца «Хорнет» (NASA, S69-21365).

экипажи отправились после возвращения в строгий карантин. Все эти меры предосторожности оказались лишними: тончайшие исследования грунта на наличие органики показали, что её содержание в среднем не превышает десяти частей на миллион, а такое количество можно объяснить загрязнением образцов в процессе транспортировки внутри космического корабля.

Данные, полученные в ходе и по итогам полёта «Аполлона-11», разочаровали сторонников экзотических гипотез происхождения и обитаемости Луны. Однако самое интересное ждало впереди...

(Окончание следует.)



Детальный телеснимок места высадки экспедиции «Аполлона-11» в Море Спокойствия, сделанный американским орбитальным аппаратом LRO (NASA/GSFC/Arizona State University, LROC M175124932R).



Антон ПЕРВУШИН.

ЗАГАДКИ ЛУНОТРЯСЕНИЙ

Полёт «Аполлона-11» на Луну, состоявшийся в июле 1969 года, намечался как испытательный, поэтому экипажу не удалось провести полноценную научную работу на поверхности. Но его результаты помогли специалистам выработать рекомендации по улучшению организации миссий, и экспедиция «Аполлона-12», начавшаяся 14 ноября 1969 года, планировалась как полноценное полевое исследование с двумя вылазками.

Одна из важнейших задач полёта — прилунение с ювелирной точностью поблизости от космического аппарата «Сервейер-3», который с апреля 1967 года находился на территории Океана Бурь (Oceanus Procellarum), к юго-западу от лучевого кратера Коперник. Океан Бурь, крупнейшее лунное море неправильной формы, занимает площадь 4 млн км², что составляет примерно 10,5% от общей лунной поверхности. Масконы (области концентрации массы, вызывающие гравитационные аномалии) под ним не обнаружены. До прилёта Чарльза

Конрада и Алана Бина территорию океана изучали ещё три аппарата помимо «Сервейера-3»: советские «Луна-9» и «Луна-13», а также американский «Сервейер-1».

Первое отличие от района посадки предшественников экипаж лунного модуля «Неустрасимый» заметил при снижении: газовая струя двигателя подняла огромную тучу чёрной пыли, поэтому садиться пришлось вслепую. Позднее, выполняя работы на поверхности, астронавты заметили, что ноги при ходьбе глубоко погружаются в грунт, а пробоотборник удалось ввести на полную длину — около 70 см (для сравнения: у экипажа «Аполлона-11» не удалось взять пробы глубже 15 см). Местный реголит отличался не только наличием большого пылевого слоя, но и составом: как выяснили учёные, «неземной» характер образцов из Моря Спокойствия (высокое содержание элементов, образующих тугоплавкие соединения, и низкое содержание летучих элементов) проявляется в образцах из Океана Бурь в гораздо меньшей степени. Кроме того, оказалось, что образцы моложе примерно на миллиард лет — средний возраст кристаллических пород составил 2,3 млрд лет.

Окончание. Начало см. «Наука и жизнь» № 8, 2019 г.

◀ Карта Луны с указанием мест высадки шести экспедиций программы «Аполлон» (NASA, S72-32719).

Модуль «Неустршимый» космического корабля «Аполлон-12» прилунился 19 ноября 1969 года на северо-западной части вала кратера Сервейер. В ходе первой вылазки астронавты Чарльз Конрад и Алан Бин развернули ловушку солнечного ветра SWC (Solar Wind Composition) и полноценную научную станцию ALSEP № 1 (Apollo Lunar Surface Experiments Package). Центральный блок станции включал коммуникационное оборудование, кабели и радиоизотопный генератор SNAP-27 мощностью 70 Вт с плутониевым элементом и пассивным терморегулированием. Рядом с ним, на расстоянии 100 м от «Неустршимого», астронавты установили чувствительный пассивный сейсмометр PSE (Passive Seismic Experiment), магнитометр LSM (Lunar Surface Magnetometer), спектрометр для изучения солнечного ветра SWS (Solar Wind Spectrometer), детектор лунной пыли LDD (Lunar Dust Detector) и супратер-



Астронавт Алан Бин извлекает из забортного отсека хранения оборудования лунного модуля «Неустршимый» элементы центрального блока научной станции ALSEP № 1; фотоснимок сделан Чарльзом Конрадом 19 ноября 1969 года (NASA, AS12-46-6790).



Научная станция ALSEP № 1, доставленная и развёрнутая на поверхности Луны экипажем «Аполлона-12»: пассивный сейсмометр PSE находится на переднем плане, за ним расположен центральный блок станции, сзади и левее — детектор лунной ионосферы SIDE; фотоснимок сделан Аланом Бином 19 ноября 1969 года (NASA, AS12-47-6918).



Астронавт Чарльз Конрад осматривает исследовательский космический аппарат «Сервейер-3»; фотоснимок сделан Аланом Бином 20 ноября 1969 года (NASA, AS12-48-7134).

мальный детектор лунной ионосферы SIDE (Suprathermal Ion Detector Experiment). На развёртывание и включение ALSEP № 1 у астронавтов ушёл час; при этом обнаружилась неприятная проблема: кабели, хотя и довольно жёсткие, в земных условиях изгибались, но на Луне они затвердели, словно куски замёрзшего садового шланга, что затруднило работу.

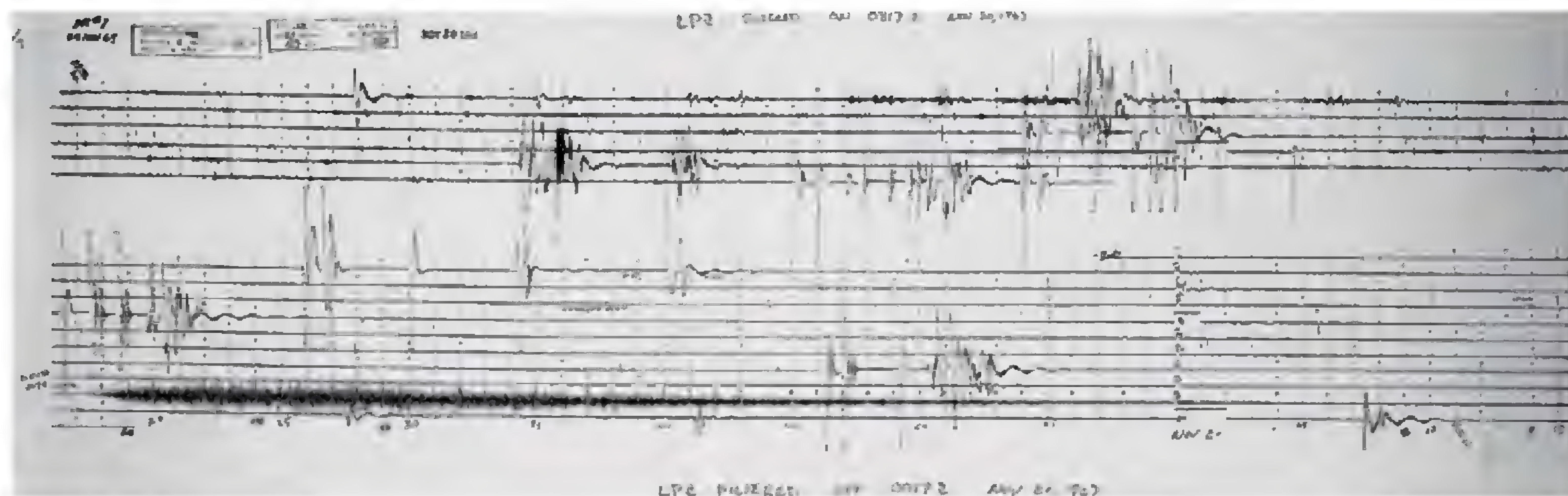
Во время второй вылазки Конрад и Бин, собирая образцы пород, совершили экс-

Сейсмограмма искусственного лунотрясения, вызванного падением взлётной кабины модуля «Неустршимый» и зарегистрированного 20 ноября 1969 года пассивным сейсмометром научной станции ALSEP № 1 (NASA, S69-59547).

курсию по поверхности, удалившись от «Неустршимого» более чем на 500 м (то есть за пределы видимости лунного модуля). Под конец они спустились в кратер к аппарату «Сервейер-3» — учёных на Земле очень интересовало, как условия космоса повлияли на оборудование и материалы. Не без удивления астронавты увидели, что аппарат покрыт коричневой пылью. Поскольку скафандры затрудняли действия, с аппарата удалось снять только небольшую часть оборудования: телекамеру, кусок кабеля, участок алюминиевой трубки и ковш-захват.

Позднее, при обследовании в лаборатории частей «Сервейера-3», группа микробиологов под руководством Фреда Митчелла обнаружила внутри телекамеры бактерии из рода стрептококков — *Streptococcus mitis*, которые обычно обитают в полости человеческого рта. Помещённые в благоприятную среду, микроорганизмы начали размножаться, что произвело сенсацию в научном мире. Получалось, что земной организм способен выжить на Луне в течение более двух лет! Открытие заставило пересмотреть отношение специалистов к проблеме стерилизации межпланетных аппаратов, ужесточив её стандарты. Однако в 2004 году результаты исследования поставили под сомнение: при транспортировке частей аппарата и взятии проб с них нарушался режим чистоты, поэтому микроорганизмы могли попасть в телекамеру при повторном загрязнении. Вопрос остаётся дискуссионным, ведь в последнем случае бактерий должно было быть на много порядков больше, а разнообразие — выше, чего группа Митчелла не наблюдала.

Сюрприз преподнёс и эксперимент с сейсмометром PSE. После старта с Луны, стыковки с командно-служебным модулем



и перехода в него астронавты отделили взлётную кабину и направили её вниз. Кабина массой 2450 кг упала на расстоянии 72 км от места посадки «Неустранимого». Скорость при столкновении составила 1,68 км/с; образовался ударный кратер диаметром 9 м. Учёные ожидали, что сейсмические колебания, вызванные падением кабины, затихнут быстро, но реверберация (остаточное звучание, сохраняющееся после выключения источника звука) продолжалась 55 минут! На пресс-конференции, устроенной в тот же день, Морис Юинг из Ламонтской обсерватории Колумбийского университета заявил: «Что касается природы происходящего, я предпочёл бы не давать объяснение прямо сейчас. Но это как если бы кто-то ударил в колокол, скажем, в церкви один раз, а гул от него продолжался целый час». Ничего похожего на Земле никогда не регистрировали, поэтому появилось сразу несколько гипотез: от сомнений в работоспособности сейсмометра до предположения о существовании огромных полостей под лунной поверхностью.

В апреле 1970 года состоялся полёт корабля «Аполлон-13». Согласно плану миссии, члены экипажа должны были вы-



Детальный телеснимок места высадки экспедиции «Аполлона-12» в Океане Бурь, сделанный американским орбитальным аппаратом LRO (NASA/GSFC/Arizona State University, M168353795RL).

Астронавт Алан Шепард работает рядом с двухколёсной тележкой MET; фотоснимок сделан Эдгаром Митчеллом 6 февраля 1971 года (NASA, AS14-68-9405).





сидеться поблизости от древнего ударного кратера Фра Мауро (Fra Mauro) в области северо-восточного побережья Моря Познанного (Mare Cognitum), которое в свою очередь является частью Океана Бурь. Однако на пути к Луне произошла авария, поэтому высадку пришлось отменить, а научная станция ALSEP № 2 была потеряна. Всё же свой вклад в селенологию «Аполлон-13» внёс: третью ступень ракеты «Сатурн-5» массой 13 т направили к Луне и 15 апреля она врезалась в поверхность со скоростью 2,68 км/с на территории кратера Лансберг (Lansberg) — 200 км западнее места высад-

Астронавт Эдгар Митчелл проводит активный сейсмический эксперимент с использованием посоха-«ударника», при этом на заднем плане Алан Шепард работает с приборами станции ALSEP № 3; фотоснимок сделан 5 февраля 1971 года в автоматическом режиме камерой, установленной на тележке MET (NASA, S71-19509).



Научная станция ALSEP № 3, доставленная и развёрнутая на поверхности Луны экипажем «Аполлона-14»: крупный объект с антенной — центральный блок станции, сзади и левее находится «мортира» активного сейсмического эксперимента ASE, сзади и правее виден детектор низкоэнергетических заряженных частиц CPLEE; фотоснимок сделан 5 февраля 1971 года (NASA, AS14-67-9376).

ки астронавтов «Аполлона-12». На этот раз реверберация длилась четыре часа! Если бы причиной «колокольного гула» стало падение обломков, выбитых ударом, как полагали некоторые специалисты, то его продолжительность была бы намного меньше.

Чтобы ответить на вопросы селенологов о физической природе ревербераций, необходимо было доставить на Луну ещё несколько комплектов сейсмографов, разместить их на достаточном удалении друг от друга и провести серию экспериментов с искусственными лунотрясениями.

31 января 1971 года началась экспедиция «Аполлона-14», экипажу которой предстояло реализовать программу неудачливых предшественников. В ходе полёта они повторили эксперимент с падением третьей ступени «Сатурна-5». При этом сейсмометр PSE станции ALSEP № 1 зарегистрировал реверберацию продолжительностью около трёх часов, подтвердив, что наблюдаемый феномен не является чем-то исключительным.

Через сто восемь часов после старта, 5 февраля, астронавты Алан Шепард и Эдгар Митчелл совершили в модуле «Антарес» посадку в 50 км к северу от кратера Фра Мауро и в 1 км от молодого кратера, неофициально названного Коун (Cone). Для облегчения работы на поверхности экспедицию снабдили двухколёсной тележкой MET (Modular Equipment Transporter). С её помощью в ходе первой вылазки астронавты доставили к месту расположения в 180 м к западу от «Антареса» новую научную станцию ALSEP № 3. Её приборный состав в основном повторял станцию «Аполлона-12», но с дополнительным оборудованием: угольным лазерным отражателем LRRR (Laser Ranging RetroReflector) и детектором низкоэнергетических заряженных частиц CPLEE (Charged Particle Lunar Environment Experiment).

Впрочем, самой необычной новинкой в комплекте стала установка для проведе-

ния активного сейсмического эксперимента ASE (Active Seismic Experiment). В качестве источников сейсмических волн использовали два устройства: стационарную «мортиру» (mortar) и переносной посох-«ударник» (thumper). Сначала Эдгар Митчелл развернул кабель с геофонами (датчиками колебаний грунта) на 90 м к югу от центрального блока, а при возвращении подорвал тринадцать пиротехнических зарядов на поверхности с помощью «ударника», чтобы проверить работоспособность всей системы. «Мортиру» установили рядом с центральным блоком, ориентируя её на север и снарядив для стрельбы. Она содержала четыре «гранаты» (grenade), каждая из которых состояла из небольшого ракетного двигателя, фугасного заряда, детонатора, аккумулятора, передатчика и нити, по размотке которой можно было определить расстояние выстрела. Разумеется, «мортиру» собирались привести в действие только после возвращения астронавтов на Зем-

лю. Чтобы они случайно не приблизились к заряженной «мортире» при дальнейших работах на поверхности, над ней выдвинули мачту с красным предупреждающим флагом.

Во время второй вылазки астронавты для сбора камней и грунта совершили долгий поход в сторону кратера Коун. Селенологи предполагали найти здесь древние глубинные породы, выброшенные при столкновениях Луны с крупными небесными телами. Доставленные на Землю образцы действительно отличались от всего ранее виденного: они легко крошились, содержали редкие минералы и были богаты полевым шпатом. Обнаруженные в их составе базальты оказались самыми старыми из найденных на тот момент; их возраст — от 4,0 до 4,3 млрд лет. Среди прочего астро-

Астронавт Джеймс Ирвин рядом с лунным ровером LRV-1; фотоснимок сделан Дэвидом Скоттом 31 июля 1971 года (NASA, AS15-86-11603).





Камень Большая Берта (образец № 14321), доставленный на Землю экспедицией «Аполлона-14» (NASA, S71-29184).

навты подобрали сколок большого белого камня массой 9 кг, фигурирующий в каталоге лунных образцов под номером 14321 и получивший впоследствии собственное имя Большая Берта (Big Bertha). Долгое время он считался фрагментом древней лунной коры, однако в январе 2019 года группа исследователей из австралийского Университета Кёртина на основе тонкого химического анализа выдвинула предположение, что белый сколок — метеорит,

Детальный телеснимок места посадки экспедиции «Аполлона-14» в районе Фра Мауро, сделанный американским орбитальным аппаратом LRO (NASA/GSFC/Arizona State University, M104634241LE).



прилетевший с Земли в ту эпоху, когда расстояние между нашей планетой и её спутником было намного меньше, чем сейчас.

Что касается «мортиры», входившей в состав ALSEP № 3, то её не удалось пустить в ход: сначала учёные на Земле опасались, что выстрелы из неё негативно повлияют на другое оборудование станции, а потом оказалось, что из-за старения нельзя привести в действие двигатели «гранат». Активный сейсмический эксперимент в результате провели уже на «мортире», доставленной «Аполлоном-16».

ДРЕВНИЕ КАМНИ

Экспедиция «Аполлона-15», стартовавшая 26 июля 1971 года, открывала новый этап в исследованиях. Благодаря совершенствованию ракеты-носителя «Сатурн-5» её грузоподъёмность увеличилась, за счёт чего выросли ресурс и полезная нагрузка лунного модуля. Стало возможным доставить на Луну не примитивную тележку MET, а четырёхколёсный ровер LRV (Lunar Roving Vehicle), способный с двумя астронавтами развивать скорость до 16 км/ч и удаляться от места посадки на 9 км.

Как и в ходе прошлых полётов, третью ступень «Сатурна-5» направили в сторону Луны и, врезавшись в неё, она породила многочасовую реверберацию, зафиксированную сейсмометрами станций ALSEP № 1 и № 3. Однако главная задача миссии заключалась в поиске более древних образцов, чем нашли предшественники. 30 июля модуль «Сокол» с астронавтами Дэвидом Скоттом и Джеймсом Ирвином на борту совершил посадку в районе Хэдли-Апеннины (Handley-Apennine). Там фронт горного массива Апеннины возвышается на 3,6 км над Морем Дождей (Mare Imbrium), и селенологи рассчитывали найти материалы времён образования этого бассейна в результате столкновения с планетезималью (небольшим небесным телом, образовавшимся из сгустка протопланетного вещества), о чём свидетельствовало наличие маскона. При снижении «Сокола» поднялась туча чёрной пыли. Поэтому посадку пришлось проводить вслепую, из-за чего модуль чуть не опрокинулся. Тем не менее всё завершилось благополучно, а на месте прилунения экспедиции «Аполлона-15» образовалось светлое пятно, которое можно

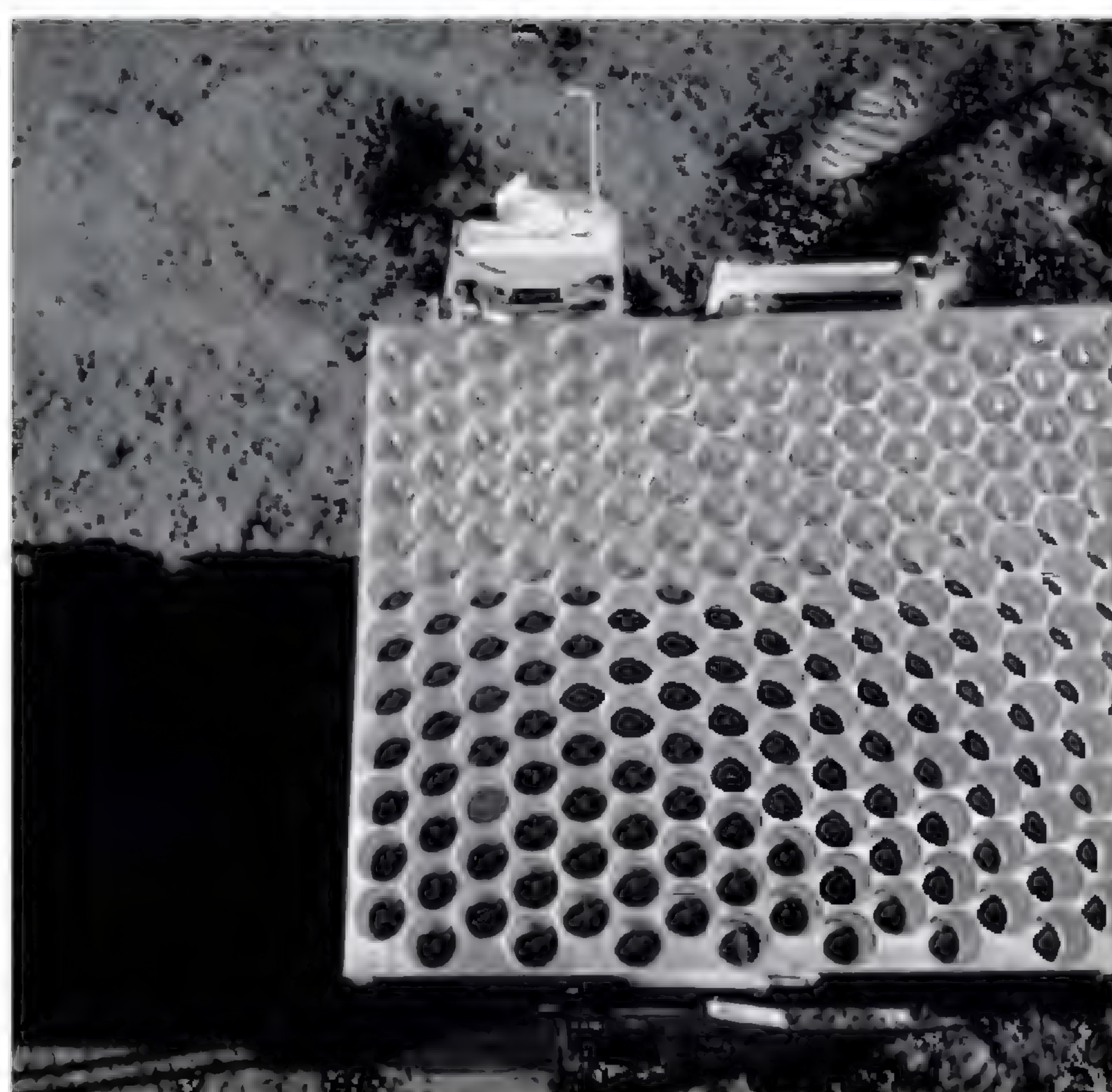
разглядеть сегодня с селеноцентрической орбиты даже при помощи космической телекамеры низкого разрешения.

В ходе первой вылазки астронавты испытали ровер, собрав по пути образцы грунта, а после возвращения к «Соколу» в 125 м к северо-западу от него развернули научную станцию ALSEP № 4. По составу она походила на станцию «Аполлона-14», только оборудование активного сейсмического эксперимента ASE заменили на прибор для измерения теплового потока из лунных недр HFE (Heat Flow Experiment). Кроме того, вместо стандартного лазерного отражателя LRRR установили увеличенный — из 300 кварцевых призм. Впоследствии за счёт своего размера он стал наиболее востребованным среди селенологов и геофизиков (для сравнения: до 2000 года включительно с отражателем «Аполлона-11» было проведено 1384 эксперимента, «Аполлона-14» — 1380, «Аполлона-15» — 10 923). С его помощью удалось не только установить, что Луна удаляется от нашей планеты со скоростью 38 мм в год, но и уточнить существующие модели приливного взаимодействия, ещё раз проверить правильность общей теории относительности, определить величину дрейфа земных континентов и получить косвенные данные в пользу гипотезы существования лунного ядра.

Для измерения теплового потока в рамках эксперимента HFE, разработанного в Колумбийском университете, астронавтам пришлось просверлить две скважины. Намечалось дойти до глубины 3 м, однако через 2 м электробур упёрся в скальное основание. Вторую скважину тоже не удалось довести, поскольку из-за перерасхода кислорода вылазку прервали раньше времени. Тем не менее астронавты успели ввести в скважины фиброглассовые трубки, а в них — термозонды, каждый из которых обеспечивал измерения на 11 глубинах и состоял из восьми платиновых термометров сопротивления и четырёх термопар.

Как выяснилось в процессе эксперимента, излучение тепла через поверхность равно или слегка превосходит его

Прибор для измерения теплового потока из лунных недр HFE; фотоснимок сделан 31 июля 1971 года (NASA, AS15-87-11848).



Угловой лазерный отражатель LRRR экспедиции «Аполлон-15» на Луне; фотоснимок сделан 31 июля 1971 года (NASA, AS15-85-11468).

генерацию в недрах; там нет условий для превращения тепловой энергии недр в мощную энергию тектонических сдвигов. Селенологи пришли к выводу, что зарегистрированные пассивными сейсмометрами природные лунотрясения связаны либо с падением метеоритов, либо с приливным воздействием Земли, либо с воз-





Камень Большой Скотт (образец № 15555), подобранный на Луне экспедицией «Аполлона-15» (NASA, AS15-82-11164).

никновением термоупругих напряжений из-за огромных перепадов температур на границе дня и ночи.

Во время второй и третьей вылазок астронавты занимались осмотром окрестностей и сбором образцов. Среди прочего, они отобрали для лабораторных исследований базальтовую глыбу массой 9,6 кг, названную Большим Скоттом (Great Scott). Она вошла в коллекцию под номером 15555. Однако наибольшее восхищение учёных вызвал Камень Творения (Genesis Rock) — образец № 15415 массой 269 г, который оказался фрагментом ранней лунной коры возрастом 4,15 млрд лет и ради поисков которого в общем-то и выбрали район Хэдли-Апеннины.

Ещё одно крупное достижение экспедиции «Аполлона-15» — доставка керна (колонки грунта) длиной 2,7 м, состоящего из пятидесяти пяти слоёв! Хотя астронавты изрядно намучились, извлекая керна, его анализ помог селенологам воссоздать древнюю историю Луны и Земли. Например, явное подтверждение получила гипотеза английского астронома Уильяма Маккри, что наша планета время от времени проходит через плотное облако космической пыли, что приводит к глобальному похолоданию. В керне «Аполлона-15» наблюдаются три повторяющихся слоя пыли с интервалами 100 млн лет, предсказанными Маккри.

После старта с Луны и стыковки с командно-служебным модулем корабля



Камень Творения (образец № 15415), доставленный на Землю экспедицией «Аполлона-15» (NASA, S71-42951).

«Аполлон-15» взлётную кабину «Сокола» сбросили вниз для создания искусственного лунотрясения. Затем с корабля на селеноцентрическую орбиту отправили мини-спутник PFS-1 (Particles and Fields Subsatellite) массой 35 кг, оснащённый магнитометром, детектором заряженных частиц и передатчиком. Спутник помог провести чёткое измерение возмущений орбиты, уточнив конфигурацию масконов.

Три действующие станции ALSEP с пассивными сейсмометрами на Луне дали учёным возможность определять привычным методом триангуляции местоположение источников лунотрясений и скорость распространения сейсмических волн. Попутно удалось раскрыть тайну ревербераций — оказалось, что «колокольный гул» возникает в поверхностном слое толщиной 1—2 км, который состоит из рыхлого и чрезвычайно сухого материала. Примерно такой же эффект проявился бы в скоплении земного галечника при взрыве гранаты, только на Луне реверберация продолжается значительно дольше за счёт низкой силы тяготения.

ЛУННЫЙ МАГНИТ

Несмотря на множество открытий, после полёта «Аполлона-15» учёные всё ещё имели смутное представление о том, как формировалась Луна. К примеру, не хватало ясности по вопросу, была ли она в мо-

мент образования горячей или холодной. С одной стороны, если она была достаточно горячей, то расплавилась бы целиком, поэтому более тяжёлые материалы, в том числе железо, сосредоточились бы вокруг её центра. В таком случае железо находилось бы и по сей день в расплавленном состоянии, а расплавленное ядро создавало бы сильное магнитное поле, подобное земному, чего не наблюдается. С другой стороны, если бы Луна оставалась сравнительно холодной на протяжении всей своей истории, то тяжёлые материалы не опустились бы в её недра и, следовательно, на ней не может быть даже остаточного магнетизма.

Новой экспедиции предстояло ответить на этот и многие другие накопившиеся вопросы. Корабль «Аполлон-16» стартовал 16 апреля 1972 года. Как и в предыдущих случаях, третью ступень ракеты «Сатурн-5» после отделения направили к Луне, она врезалась в поверхность в 102 км к северу от места посадки «Аполлона-12», что зафиксировали сейсмометры трёх станций ALSEP.

21 апреля модуль «Орион» с астронавтами Джоном Янгом и Чарльзом Дьюком прилунился на плоскогорье, севернее пятидесятикилометрового кратера Декарт (Descartes), как считалось, вулканическо-

го происхождения. Учёные рассчитывали найти там минералы горных районов, которые, согласно существующим теоретическим моделям, сформировались раньше «морей».

Программа вылазок во многом напоминала экспедицию «Аполлона-15». Сначала астронавты выгрузили ровер LRV-2 и проверили его на ходу. Затем Янг установил в тени «Ориона» небольшую дальнюю ультрафиолетовую камеру-спектрограф UVC (Far Ultraviolet Camera/Spectrograph). С её помощью астронавты сделали 178 снимков одиннадцати районов неба; на них можно увидеть Землю, звёздные скопления и туманности, Большое Магелланово Облако и т. п. Помимо новых научных сведений эксперимент с UVC давал основы для проектирования обсерваторий на лунной поверхности.

Затем астронавты нашли площадку в 100 м к юго-западу от «Ориона», где развернули станцию ALSEP № 5. Дьюк пробурил скважины: две глубиной по 2,5 м для термозондов эксперимента HFE и одну глубиной 2,7 м для получения керна. Помимо

Мини-спутник PFS-1, запущенный с борта «Аполлона-15» на селеноцентрическую орбиту (реконструкция художника NASA).



пассивного сейсмометра PSE на Луну снова доставили активный ASE, и Янг в то же самое время разворачивал кабель с геофонами. При этом он случайно задел ногой другой кабель, соединяющий центральный блок с прибором измерения теплового потока, и оборвал его в районе разъёма. Восстановить кабель в полевых условиях было невозможно, и от эксперимента HFE пришлось отказаться. Зато вполне успешно состоялась проверка работы геофонов: Янг, используя переносной посох-«ударник», подорвал девятнадцать пиротехнических зарядов. Через месяц после возвращения астронавтов по сигналу с Земли из установленной «мортиры» выпустили три «гранаты». Благодаря эксперименту ASE удалось установить толщину реголита в районе — она составляет 45 м!

Наиболее интересный результат получили при измерении магнитного поля. Для этого использовали два магнитометра: стационарный LSM (Lunar Surface Magnetometer) и переносной LPM (Lunar Portable Magnetometer), который астронавты возили с собой на ровере и разворачивали на специальной треноге в местах измерений.

Исследования лунного магнитного поля предпринимались и ранее, но результа-

Детальный телеснимок места высадки экспедиции «Аполлона-15» в районе Хэдли-Апеннины, сделанный американским орбитальным аппаратом LRO (NASA/GSFC/Arizona State University, M175252641LR).



ты получались неоднозначные. Советская станция «Луна-10» (запуск 31 марта 1966 года) и американский аппарат «Эксплорер-35» (запуск 19 июля 1967 года), работавшие на селеноцентрической орбите, определили значение верхнего предела его напряжённости в 5 гамм*, что считается очень малой величиной: для сравнения — напряжённость земного магнитного поля на экваторе составляет 30 тысяч гамм. Получалось, что у Луны фактически нет собственного магнитного поля. Однако, изучая образцы, доставленные «Аполлоном-11», учёные обнаружили остаточную намагниченность, причём такую, которую те могли приобрести в поле напряжённостью не менее 1000 гамм! Стационарный магнитометр станции ALSEP № 1, доставленной «Аполлоном-12», показал, что на поверхности Луны присутствует сравнительно сильное магнитное поле — 38 гамм. Экипаж «Аполлона-14» использовал переносной магнитометр и замерил значения напряжённости в двух пунктах, разделённых километром, получив 43 и 103 гаммы. Следующую серию измерений провели на магнитометре станции ALSEP № 3 экспедиции «Аполлона-15», но оказалось, что в районе Хэдли-Апеннины напряжённость близка к нулю — около 6 гамм.

Широкий разброс значений озадачил селенологов. И они решили провести серию экспериментов. Во-первых, один из лунных камней, отобранных астронавтами «Аполлона-12» и демонстрирующих слабую намагниченность, размагнитили в лаборатории, после чего отправили обратно в кабине «Аполлона-16». После возвращения на Землю камень снова оказался намагниченным — таким образом удалось доказать, что магнитное поле корабля влияет на образцы при транспортировке. Во-вторых, астронавты, проведя серию измерений непосредственно на Луне, получили феноменальный результат: на маршруте длиной 7 км напряжённость поля изменялась от 121 до 313 гамм. Причём в разных местах астронавты обнаружили признаки существования магнитных полей противоположных полюсов: получается, что там, как и на Земле, остывание смежных участков коры происходило в разные геологические периоды. Таким об-

* 1 гамма = 10^{-5} эрстед.



разом, было доказано, что некогда на Луне существовало достаточно сильное магнитное поле, значит, в своей эволюции она всё-таки прошла горячую стадию.

Во время второй и третьей вылазок астронавты «Аполлона-16» собирали грунт и камни по окрестностям. Результаты их путешествий тоже озадачили учёных. Ещё на месте Янг и Дьюк заявляли, что не наблюдают каких-либо признаков вулканизма. Изучение привезённых пород показало справедливость сообщения: только четыре образца имеют вулканическое происхождение, но, похоже, они были выброшены из какого-то другого района, а кратер Декарт имеет ударное происхождение.

После старта с Луны и стыковки с командно-служебным модулем астронавты

Астронавт Чарльз Дьюк у лунного модуля «Орион». На переднем плане в тени модуля — ультрафиолетовая камера-спектрограф UVC, на заднем плане — ровер LRV-2; фотоснимок сделан Джоном Янгом 22 апреля 1972 года (NASA, AS16-114-18439).

запустили мини-спутник PFS-2. Искусственное лунотрясение на этот раз организовать не удалось: из-за ошибки в настройке оборудования взлётная кабина «Ориона» после отделения от корабля начала беспорядочно кувыркаться и осталась на орбите. Впрочем, просчёт компенсировала сама природа — 13 мая 1972 года на Луну, поблизости от кратера Фра Мауро и места высадки «Аполлона-14», упал крупный метеорит (его поперечник оценива-



Фотоснимок Земли, сделанный астронавтом Джоном Янгом 21 апреля 1972 года с помощью ультрафиолетовой камеры-спектрографа UVC (NASA, S72-36972).



Научная станция ALSEP № 5, доставленная и развёрнутая на поверхности Луны экипажем «Аполлона-16»: на переднем плане находится пассивный сейсмометр PSE, за ним — центральный блок станции, сзади и левее расположен радиоизотопный генератор SNAP-27, справа — предупреждающий флаг активного сейсмического эксперимента ASE; фотоснимок сделан 21 апреля 1971 года (NASA, AS16-113-18347).

ется в 2 м, а выделившаяся энергия была эквивалентна 1000 т тринитротолуола). Лунотрясение зарегистрировали сейсмометры четырёх станций ALSEP, что дало богатый материал для обобщений. Благодаря полученным данным удалось установить, что лунные недра неоднородны, они разделены на кору и мантию, а под ними всё-таки находится твёрдое или частично расплавленное железо-сульфидное ядро, радиус которого сегодня оценивается в 400 км.

Экспедиция «Аполлона-17», стартовавшая 7 декабря 1972 года, была последней, поэтому специалисты готовили её как наиболее насыщенную всевозможными исследованиями. По заведённой традиции третью ступень ракеты «Сатурн-5» направили в сторону Луны, в которую она врезалась на расстоянии всего 80 км к востоку от площадки «Аполлона-14»; при этом снова удалось зафиксировать реверберацию продолжительностью почти три часа.

11 декабря модуль «Челленджер» с астронавтами Юджином Сернаном и Харрисоном Шмиттом совершил посадку в долине к северу от кратера Литтров (Littrow) в горах Тавр (Montes Taurus) на юго-восточном краю лунного Моря Ясности (Mare Serenitatis). Этот интересный район нашла и сняла с орбиты экспедиция «Аполлона-15»: его отличало сочетание тёмного и светлого материалов поверхности. Тёмный слой, по мнению селенологов, мог оказаться наиболее молодым образованием на Луне с возрастом около 500 млн лет; светлый, наоборот, мог содержать породы древнее 4,2 млрд лет.

Выйдя на поверхность, астронавты испытали ровер LRV-3 и приступили к размещению станции ALSEP № 6 в 185 м на запад от «Челленджера». Её комплектация изменилась, в том числе за счёт модификации привычных приборов. В состав станции вошли: измеритель теплового потока HFE (Heat Flow Experiment), аппаратура для определения лунного сейсмического профиля LSPE (Lunar Seismic Profiling Experiment), масс-спектрометр для исследования лунной атмосферы LACE (Lunar Atmospheric Composition Experiment), устройство для регистрации и определения характеристик микрометеоритов LEAM (Lunar Ejecta and Meteorite Experiment), стационарный гравиметр LSG (Lunar Surface Gravimeter Experiment).

Измеритель теплового потока HFE, как всегда, потребовал сверления двух скважин глубиной до 2,5 м, что Сернан с успехом проделал, после чего ввёл термозонды и пробурил ещё одну скважину для взятия керна. Шмитт к тому времени растянул кабель с геофонами и сделал фотопанорамы станции. Отдельно от ALSEP, в 140 м к востоку от «Челленджера», астронавты установили оборудование для эксперимента по электрическому зондированию грунта SEP (Surface Electrical Properties).

Измеритель лунного сейсмического профиля LSPE был в принципе аналогичен активным сейсмометрам предыдущих экспедиций, но отличался от них конструктивно. Геофоны располагались не на одной линии, а в углах равностороннего треугольника. Для создания искусственных лунотрясений использовали не «мортиру», а восемь зарядов со взрывчаткой массой от 57 г до 2,7 кг, которые астронавты установили в разных местах во время вылазок на ровере. Их подорвали по очереди, используя часовой механизм после того, как взлётная кабина «Челленджера» покинула Луну. Геофоны зафиксировали сейсмические волны, и анализ полученных данных позволил составить пространственную карту недр района до глубины 1,5 км.

Не менее интересные результаты дал эксперимент LACE. Хотя лунная атмосфера сильно разрежена, она всё-таки существует. При исследованиях масс-спектрометром учёные установили её состав: водород, гелий, неон, метан, углекислый газ, аммиак и даже... вода! Кроме того, был обнаружен аргон-40, а его количество увеличивалось в разы в периоды повышенной сейсмической активности: поскольку он образуется при радиоактивном распаде калия-40, то, очевидно, лунотрясения позволяют аргону подняться на поверхность через образующиеся трещины.

Сбор камней тоже произвёл сенсацию. Например, Сернан походя отколол кусок от невзрачного на вид валуна, а в лаборатории выяснилось, что «случайный» образец состоит из почти чистого оливина

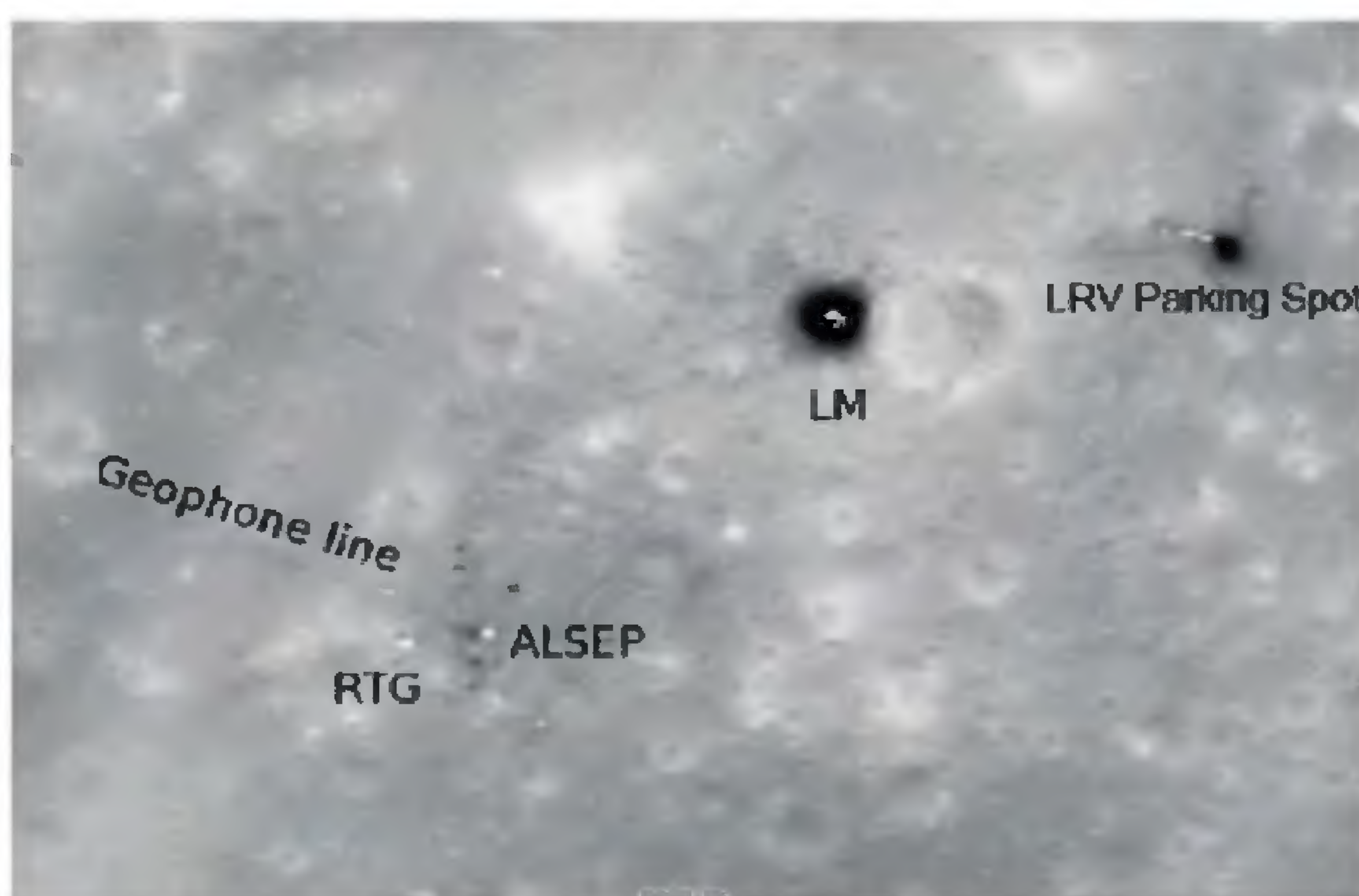
Детальный телеснимок места посадки экспедиции «Аполлона-16» в районе кратера Декарт, сделанный американским орбитальным аппаратом LRO (NASA/GSFC/Arizona State University, M109134835LE).

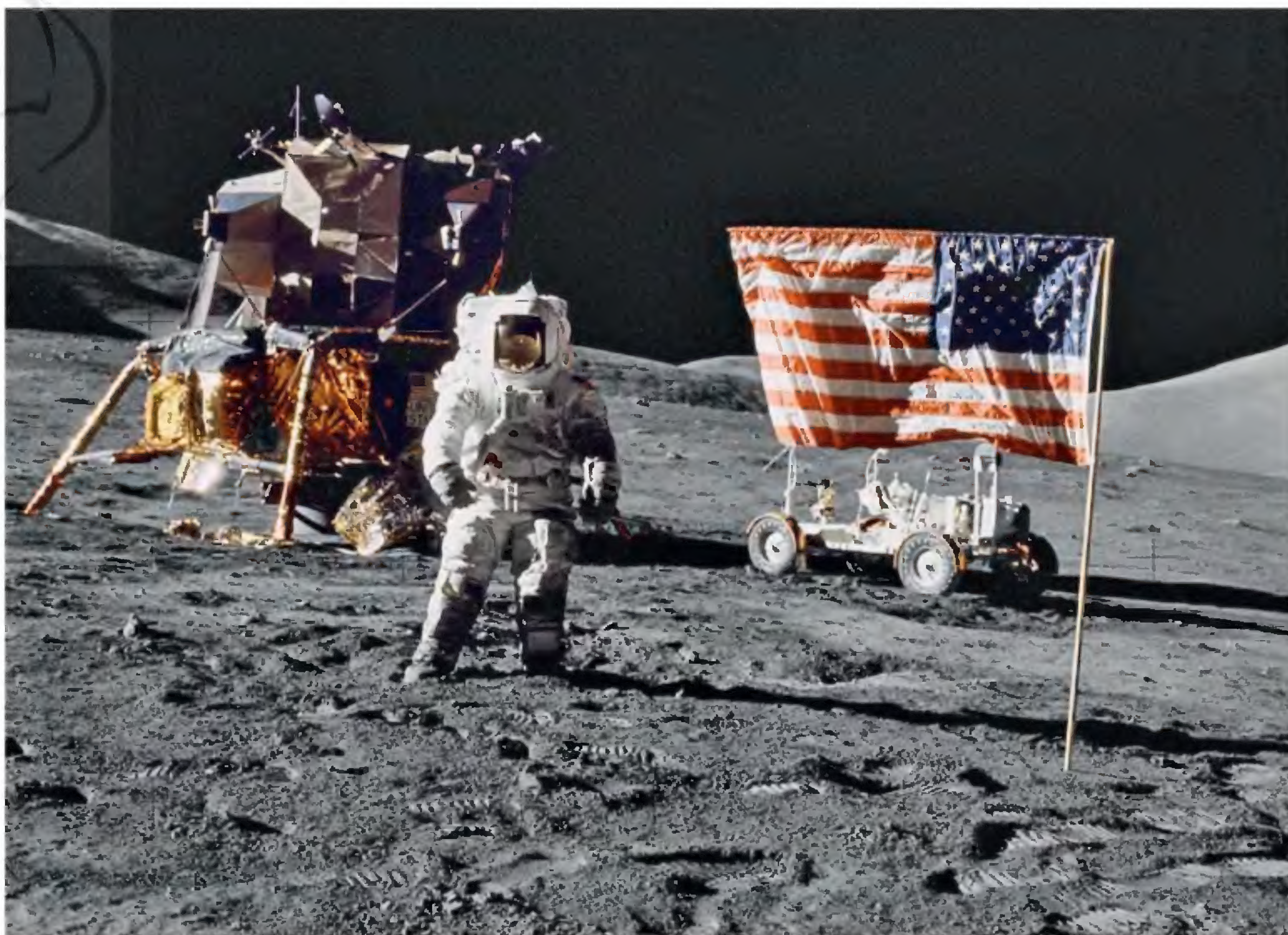


Взлётная кабина модуля «Орион» осталась на селеноцентрической орбите (NASA, AS16-122-19533).



Переносной магнитометр LPM экспедиции «Аполлон-16» выставлен для проведения измерений; фотоснимок сделан 22 апреля 1972 года (NASA, AS16-114-18433).





На лунной поверхности астронавт-геолог Харрисон Шмитт, сзади слева от него лунный модуль «Челленджер», за американским флагом — ровер LRV-3; фотоснимок сделан Юджином Сернаном 13 декабря 1972 года (NASA, AS17-134-20382).



Научная станция ALSEP № 6, доставленная и развёрнутая на поверхности Луны экипажем «Аполлона-17»: на переднем плане находится устройство для регистрации и определения характеристик микрометеоритов LEAM, центральный блок станции с антенной расположен позади, рядом с ним справа — радиоизотопный генератор SNAP-27, белый объект слева за грудой упаковочного материала — стационарный гравиметр LSG; фотоснимок сделан 11 декабря 1972 года (NASA, AS17-134-20500).

(дунита) возрастом 4,5 млрд лет (образец № 72417) — самый старый в коллекции, доставленной с Луны. Но куда большее волнение специалистов вызвал участок оранжевого грунта, который Шмитт заметил у кратера Шорти (Shorty). Необычный цвет мог указывать на наличие воды под поверхностью или на недавнюю вулканическую активность. Увы, исследования показали, что он состоит из шариков цветного стекла невулканического происхождения — похоже, в далёкой древности его материал поднялся с глубины около 300 км в струе огненного «фонтана», а потом осел на поверхность и затвердел. Утверждение, что на Луне миллиарды лет нет серьёзного вулканизма, поколебать не удалось.

Перед выходом на траекторию полёта к Земле астронавты отделили взлётную кабину, которая на этот раз упала на Луну в заранее рассчитанный район — в 9 км от места посадки «Челленджера», дав допол-



нительные данные для исследователей. Многолетняя лунная одиссея завершилась.

ГИПОТЕЗА МЕГАИМПАКТА

В 1975 году астронавт Харрисон Шмитт (см. «Наука и жизнь» № 2, 2019 г., с. 81) — первый и пока последний профессиональный геолог, побывавший на Луне, — подводя промежуточный итог научной программе «Аполлонов», заявил, что непосредственные исследования помогли ответить на целый ряд принципиальных вопросов об эволюции ближайшего небесного тела.

Прежде всего, установлено, что Луна образовалась 4,6 млрд лет назад, то есть в то же самое время, что и вся Солнечная система. Затем тепловая энергия гравитационного сжатия и удары метеоритов расплавили её внешнюю оболочку, а из-за малой силы тяготения в ней удержались только элементы тяжелее натрия. Постепенно остывая, оболочка расслоилась на кору, богатую алюминием и кальцием, и верхнюю мантию, в которой преобладают минералы с высоким содержанием железа и магния. С 4,4 по 4,1 млрд лет назад Луну непрерывно бомбардировали метеориты, в результате чего поверхность была покрыта рыхлым «одеялом» толщиной в

Детальный телеснимок места высадки экспедиции «Аполлона-17» в горах Тавр, сделанный американским орбитальным аппаратом LRO (NASA/GSFC/Arizona State University, M168000580R).

сотни метров. Около 4 млрд лет назад на Луну одна за другой упали планетезимали, в результате чего образовались крупные «бассейны» протяжённостью в сотни и тысячи километров, обрамлённые высокими кольцевыми горами. Среди них выделяются древние мелкие впадины типа Моря Ясности и относительно молодые неглубокие типа Моря Спокойствия. Вероятно, в эту эпоху завершилось вертикальное расслоение оболочки и образовалось расплавленное железо-сульфидное ядро, генерирующее сильное магнитное поле. Около 3,9 млрд лет назад из переплавленных осколков коры началось формирование светлых равнин, в основном на обратной стороне Луны. Ещё через 100 млн лет, когда лава заполняла свободные впадины, появились первые базальтовые «моря». Движение базальтовых потоков прекратилось 3 млрд лет назад, затихли тектонические лунотрясения и вулканические извержения. Луна стала остывать и с тех



Древнейший лунный камень возрастом 4,5 млрд лет, фрагмент которого доставлен на Землю экспедицией «Аполлона-17»; фото-снимок сделан 12 декабря 1972 года (NASA, AS17-137-20963).

пор менялась лишь под ударами редких метеоритов.

Реконструкция Шмитта опровергла многие ранние гипотезы селенологов, но некоторые детали требовали уточнения. Например, так и не удалось определить, как же всё-таки образовалась Луна. Научные станции ALSEP продолжали работать, поставляя информацию до 30 сентября 1977 года, после чего их перевели в режим ожидания. В частности, установленные астронавтами сейсмометры зафиксировали свыше 10 000 лунотрясений и 2000 метеоритных ударов. Анализ огромного количества данных, переданных ALSEP, с использованием самой современной на тот момент вычислительной техники и натурного моделирования заставил учёных усомниться в том, что они имеют правильные представления о строении Луны. Оказалось, что её кора слоиста и разнообразна в зависимости от региона, а мантия состоит из блоков планетарного масштаба, имеющих уникальные преобладающие составы и разделённых зонами сверхглубоких разломов, в которых обнаруживаются очаги лунотрясений.

Уточнённая модель структуры Луны подтверждала теорию её формирования из околоземного протопланетного роя. Но откуда взялся сам рой? Почему он не выпал на нашу планету? В ходе дискуссий по-



Участок с оранжевым грунтом, обнаруженный астронавтами «Аполлона-17» во время второй вылазки 12 декабря 1972 года (NASA, AS17-137-20990).

явилась новая гипотеза — рождения Луны в результате столкновения (мегаимпакта) протоземли с массивным планетоидом, получившим условное название Тейя (Theia). Её выдвинули в 1975 году Уильям Хартман и Дональд Дэвис. Они предположили, что мегаимпакт случился через 100 млн лет после того, как начали формироваться планеты Солнечной системы, причём произошло слияние ядер двух тел, а часть их мантийного материала была выброшена на околоземную орбиту, образовав рой. В дальнейшем из него могла сформироваться либо сразу полная Луна, либо две малые луны, которые столкнулись позднее на сравнительно небольшой скорости. Косвенным доказательством гипотезы мегаимпакта служит открытие идентичности соотношения изотопов кислорода в земных породах и образцах горных пород, доставленных экспедициями «Аполлонов». Она же хорошо объясняет, почему оболочка Луны расплавилась на раннем этапе формирования и почему та обладает столь малым ядром.

Гипотеза мегаимпакта сегодня популярна, хотя у неё есть и противники. Точку в бесконечных спорах могут поставить только новые экспедиции. Но для того чтобы возник сам предмет спора, землянам пришлось сначала слетать на Луну.